

УДК [UDC] 612.06

DOI 10.17816/transsyst201843s1340-350

© А. В. Рубинский¹, Т. Д. Власов¹, Н. И. Чалисова²

¹Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И. П. Павлова

²Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН
(Санкт-Петербург, Россия)

МОДЕЛЬ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДЕЙСТВИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ (В РАМКАХ ПРОЕКТА «РОССИЙСКИЙ МАГЛЕВ»)

Цель: совершенствование методологической базы для изучения влияния на организм человека постоянных магнитных полей (ПМП), используемых в технологии «Российский Маглев».

Материалы и методы: органотипическое культивирование фрагментов тканей животных, на которые воздействовали экспериментальной установкой, генерирующей равномерное ПМП с характеристиками аналогичными отечественной разработке «Российский Маглев».

Результаты: значения индекса площади (ИП) для эксплантатов тканей печени, сердца, простаты, почки в контроле и под действием ПМП не различались. ПМП значительно снижало ИП эксплантатов иммунной ткани селезенки и коры головного мозга.

Выводы:

1. воздействие ПМП отрицательно действует на пролиферативную активность органотипической культуры ткани коры головного мозга и селезенки;
2. представлена биологическая модель оценки влияния ПМП на организмы, предназначенная для апробации средств физической защиты.

Ключевые слова: постоянное магнитное поле, органотипическая культура тканей, «Российский маглев», биологическая модель, пролиферация клеток, средства защиты.

© A. V. Rubinskiy¹, T. D. Vlasov¹, N. I. Chalisova²

¹Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University

²Pavlov Institute of Physiology RAS
(St. Petersburg, Russia)

THE MODEL FOR STUDY OF INFLUENCE OF MAGNETIC FIELDS ON BIOLOGICAL OBJECTS (WITHIN THE RUSSIAN MAGLEV PROJECT)

Aim: methodological aspects of the study influenced static magnetic fields (SMF) used in the technology “Russian Maglev” on the organisms are improved.

Materials and methods: organotypic culture of animal tissue fragments was studied under the influence of an experimental setup generating a homogeneous SMF with characteristics similar the “Russian Maglev”.

Results: area index (AI) for liver, heart, prostate, renal tissue of explants in the control and under the action of SMF did not differ. SMF significantly reduces AI of explants the immune tissue of the spleen and the cerebral cortex.

Conclusions: 1. the influence of SMF has a negative impact on the proliferative activity in organotypic culture of the cerebral cortex and spleen; 2. the biological model for examination of influence SMF on organisms intended for approbation of means of physical protection is presented.

Keywords: static magnetic field, organotypic tissue culture, “Russian Maglev”, biological model, cell proliferation, means of physical protection.

ВВЕДЕНИЕ

В современной, обширной по объёму научной литературе, посвященной эксплуатационным разработкам и проблемам магнитолевитационных транспортных систем, основное внимание уделено энергетическому анализу применяемых и разрабатываемых технологий, поиску оптимальных технических решений по безопасности. В проекте «Российский маглев» («РМ») применена система статической магнитной левитации в отличие от иностранных систем электродинамической (технология «Maglev») и электромагнитной (технология «Transrapid») левитации [1]. В связи с этим, вопросы медицинской безопасности «РМ» имеют особенности, хотя в общей структуре проблем им уделено недостаточное внимание [6]. Поэтому актуальным является установление характеристик физических полей вокруг отечественной разработки «РМ», проведение модельных медико-биологических исследований для установления воздействия нерadiационных полей на различные системы организма, разработка научно обоснованных предложений и рекомендаций для установления регламентарных норм в этом виде транспорта, для защиты от вредоносного техногенно-полевого воздействия на пассажиров и обслуживающий персонал.

Целью настоящей работы было совершенствование методологической базы для изучения влияния на организм человека постоянных магнитных полей (ПМП), используемых в технологии «Российский маглев», способных воздействовать на организм человека. Для дифференцированной оценки воздействия ПМП на органы различных систем млекопитающих исследования проводились в органотипической культуре тканей. Следует отметить, что использование культур клеток и тканей в биологических исследованиях получает все большее распространение в качестве сравнительно простых модельных систем, с помощью которых можно успешно решать многие

проблемы воздействия различных факторов окружающей среды на ткани живых организмов.

Органотипическое культивирование фрагментов тканей является наиболее адекватным и удобным методом для быстрой количественной оценки направленности влияния исследуемых факторов на биологические объекты [2]. Это связано с тем, что изменение количества клеток является результатом стимуляции или ингибирования клеточной пролиферации, и это изменение служит критерием первичной интегральной оценки биологической активности, в том числе ПМП. Преимуществом рассматриваемого метода является то, что в эксплантатах сохраняется такая же соподчиненность клеточного состава ткани, как и в целостном организме [3]. В органотипической культуре возможно строго дозированное воздействие непосредственно на клетки ПМП, при этом исключаются действующие в целостном организме нервные, гормональные и другие влияния. Классической тест-системой является органотипическая культура различных тканей крыс.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изучения влияния ПМП на процессы клеточной пролиферации в органотипической культуре использовали эксплантаты тканей разного генеза, полученные от половозрелых крыс-самцов популяции Wistar («Коллекция лабораторных млекопитающих разной таксономической принадлежности» Института физиологии им. И.П. Павлова РАН, поддержана программой биоресурсных коллекций ФАНО России). В экспериментах исследованы 747 эксплантатов тканей коры головного мозга (n=182), селезёнки (n=184), почки (n=95), сердца (n=96), простаты (n=92) и печени (n=98), которые помещались в чашках Петри в питательной среде с pH=7,2 следующего состава: физиологический раствор (0,9 %) 50 мл, среда MEM 50 мл, фетальная бычья сыворотка 10 мл, глюкоза (5 %) 1 мл, гентамицин (4 %) 0,5 мл. Чашки Петри с эксплантатами помещались в CO₂-инкубатор при 36,8 °C [4, 5].

На экспериментальные чашки воздействовали с помощью установки, специальной камеры, содержащей намагничивающее устройство, состоящее из двух магнитных полюсов-концентраторов – плоских ферритовых магнитов марки Y22H (Fe₂O₃·SrCO₃) с анизотропной магнитной структурой и платформу из немагнитного материала для размещения на ней контейнера (чашки Петри) с образцами исследуемой ткани. Концентраторы образовывали в месте расположения исследуемой ткани пятно однородного ПМП, структуру и величину индукции которого контролировали прибором Тесламетр Ф 4354/1. Величину напряженности и контроль однородности поля в пятне

устанавливали и регулировали взаимным расположением концентраторов. Погрешность измерений не превышала 2,5 %. Чашку Петри с образцами разных тканей помещали между рабочими торцами полюсов и воздействовали однородным ПМП индукцией ~200 мТл. в течение трёх суток при постоянстве температуры и атмосферы окружающей среды в CO₂-инкубаторе (Shellab, Sheldon, США).

Выбор величины индукции ПМП в эксперименте соответствует величине напряженности ПМП в салоне модели «Русский Маглев» на уровне одного метра от пола [6].

От одной крысы получали образцы ткани, которые делили на эксплантаты и культивировали в двух одновременных и одинаковых по длительности (72 часа) условиях: без воздействия ПМП (контроль) и при воздействии ПМП (эксперимент). Для количественной оценки влияния ПМП на развитие эксплантатов применяли морфометрический метод и сравнивали данные контрольных и экспериментальных чашек. Для этого использовали визуализацию эксплантатов микротеленасадкой для микроскопа (серия 10, «МТН-13» фирмы «Альфа-Телеком», Россия), площади зон эксплантатов в условных единицах определяли с помощью программы PhotoM 1.2.

Происходящее при культивировании выселение регенерирующих клеток в зону роста (ЗР) из центральной зоны (ЦЗ) эксплантата оценивали по индексу площади (ИП), который рассчитывали по формуле (1) отношения площади (S) всего эксплантата ($S_{ЗР+ЦЗ}$) к площади центральной зоны ($S_{ЦЗ}$).

$$\text{ИП} = \frac{S_{ЗР+ЦЗ}}{S_{ЦЗ}} \quad (1)$$

После этого значения ИП усредняли по отдельности для контрольных (ИП_к) и экспериментальных чашек (ИП_э). Усредненное значение ИП_к принимали за 100%, а разницу усредненных значений ($\Delta\text{ИП}$) выражали в процентах по формуле (2), по значению которой судили о величине и направленности изменений.

$$\Delta\text{ИП} = \frac{\text{ИП}_э - \text{ИП}_к}{\text{ИП}_к} \times 100 \% \quad (2)$$

Достоверность различий ИП эксплантатов в контрольных и экспериментальных чашках после проверки на соответствие полученных данных нормальному закону распределения (Шапиро–Уилка, Монте–Карло, Харке–Бера) оценивали с помощью t-критерия для независимых выборок. Статистически достоверными различия принимали на уровне P менее 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее нами изучены и представлены характеристики основных источников ПМП в технологии РМ [6], магнитная индукция которых при воздействии на организм человека возрастает от значений < 1 до 300 мТл при приближении к источнику МП с 0,7 до 0,1 м соответственно. Полученные данные сопоставлены с действующими в РФ нормативно-техническими документами: СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» (к сожалению, регламентарные нормы в РФ на транспорте до сих пор не разработаны). Согласно литературным данным, воздействие магнитного поля вызывает в человеческом организме неспецифическую реакцию по типу общего адаптационного синдрома. Возможно развитие и специфической, схожей с метеотропной, реакции, протекающей с изменением сосудистого тонуса. Складывается убеждение, что фактор магнитной природы не является непосредственной причиной болезни, он лишь провоцирует ее или способствует обострению уже имеющегося патологического процесса. У людей с метеочувствительностью могут появиться функциональные нарушения, влияющие на качество жизни. При этом конкретная динамика физиологических показателей у разных людей может быть различной [7].

Однако результатов скрининговых исследований интенсивности воздействия одинакового ПМП на различные органы в литературе найти не удалось. Кроме того, только в ряде работ описано проведенное исследование характеристик ПМП, имеющего наибольший биологический эффект. Для скринингового исследования действия биологически активных факторов наиболее подходит методика органотипической культуры ткани [8]. Полученные нами экспериментальные данные свидетельствуют о том, что равномерное ПМП с индукцией ~ 200 мТл по-разному влияет на клетки различных тканей млекопитающих. Согласно приведенным в таблице усредненным значениям ИП для эксплантатов органотипической культуры тканей печени, сердца,

Таблица. Усредненные значения ИП эксплантатов тканей в контрольных (ИП_к) и экспериментальных (ИП_э) чашках Петри

| | Кора головного мозга | Селезенка | Печень | Почка | Простата | Сердце |
|----------------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| ИП _к , усл. ед. | 1,6±0,26 | 1,98±0,62 | 1,67±0,67 | 2,11±0,78 | 1,37±0,2 | 1,79±0,37 |
| ИП _э , усл. ед. | 1,29±0,12 | 1,6±0,34 | 1,66±0,3 | 1,76±0,32 | 1,36±0,2 | 1,78±0,19 |
| <i>P</i> -значения | 0,03 | 0,03 | 0,83 | 0,26 | 0,85 | 0,65 |

простаты, почки, можно сделать вывод о том, что пролиферативные процессы не изменялись, так как значения ИП₃ статистически недостоверно отличались от ИП_к. В то время как ПМП угнетало клеточную пролиферацию иммунной ткани селезенки и клеток головного мозга.

Так ИП эксплантатов в экспериментальных чашках статистически достоверно ($P=0,03$) уменьшался по сравнению с контролем для тканей коры головного мозга ($\Delta\text{ИП} = -19,7\%$) и селезенки ($\Delta\text{ИП} = -18,9\%$).

Несмотря на вышеописанные результаты действие ПМП на живые организм и клетки, многолетняя практика применения ПМП в медицинских процедурах, в частности магнитной резонансной томографии, позволила опубликовать работы, утверждающие безопасность применения ПМП [9, 10]. Хотя применяются относительно сильные магнитные поля, такие процедуры действительно могут быть безопасны для пациентов вследствие непродолжительности магнитной экспозиции. Для персонала, хроническое действие ПМП и других вредных факторов, позволяет нейтрализовать соблюдение гигиенических правил, которые неспецифичны для нейтрализации действия ПМП [11]. Представленные данные не исключают отдаленных проявлений экспозиции в ПМП для здоровья человека уровня 1 Тл [12, 13], хотя в других исследованиях таких эффектов не найдено [14].

Учитывая вышесказанное, представляется актуальным решение задачи по поиску средств защиты, позволяющих снизить биологический эффект от действия ПМП для пассажиров и обслуживающего персонала при эксплуатации транспортной системы «Российский Маглев» («РМ»). Поэтому в нашей работе мы постарались обосновать модель для апробации различных средств нейтрализации или снижения биологических эффектов действия ПМП, реализованную в органотипической культуре ткани. Для этого во 2-й серии опытов мы выбрали полипептиды, обладающие тканеспецифическим и стимулирующим клеточную пролиферацию действием [15], и ввели в питательную среду эксплантатов, подвергающихся воздействию ПМП. К эксплантатам коры головного мозга добавлялся препарат Кортексин[®], а к эксплантатам селезенки препарат Тималин[®] [16]. Эти полипептиды добавлялись в эффективной концентрации 50 нг/мл. На Рис. показано, что при действии Кортексина[®] на эксплантаты коры головного мозга ИП снижался ($\Delta\text{ИП} = -12,3\%$) статистически недостоверно (таким образом, действие ПМП уменьшалось в целом на 9%). А при совместном действии ПМП и Тималина[®] на эксплантаты селезенки наблюдалось увеличение ИП в экспериментальных чашках по сравнению с контрольными ($\Delta\text{ИП} = +13,4\%$).

Эти данные подтверждают функциональное угнетение пролиферативной активности эксплантатов селезенки и коры головного мозга под действием

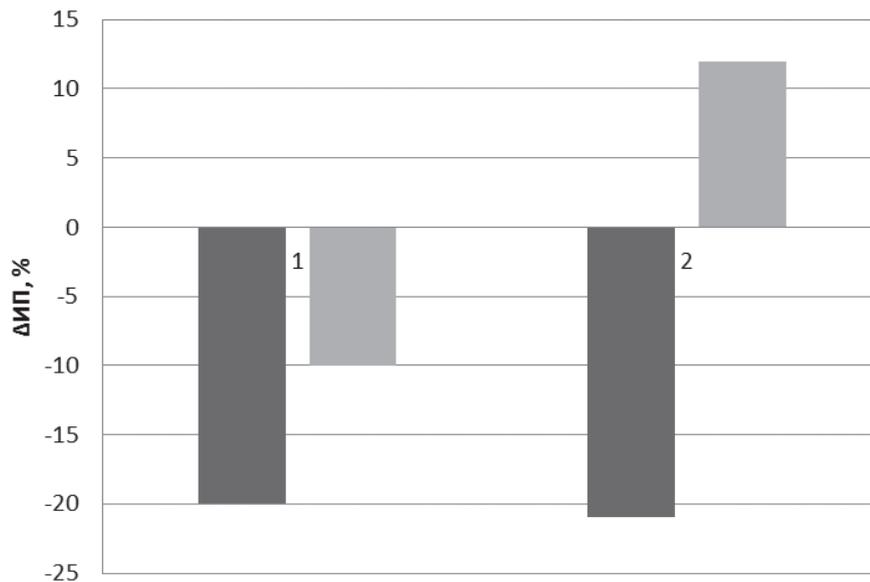


Рис. Влияние ПМП на кору (1) и селезенку (2) изолированно (темные столбики) и в сочетании с Кортексином® и Тималином® соответственно (светлые столбики)

ПМП и возможность нормализации пролиферативного потенциала под действием факторов роста, содержащихся в применяемых препаратах.

Полученные нами данные мы сравнили с данными других исследователей, так как постоянные МП с индукцией в диапазоне от долей до сотен мТл в лабораторных условиях сравнительно легко создать. В настоящее время внимание ученых сосредоточено по двум основным направлениям исследований: поиск механизмов действия ПМП на живые организмы и наблюдения биологических эффектов слабых ПМП, как правило, с неблагоприятным действием на организм. Обсудим последнее направление более подробно. В ряде работ описаны клеточные эффекты от воздействия МП с аналогичными характеристиками. Во всех работах описано подавление пролиферации клеток вследствие увеличения повреждений ДНК при воздействии ПМП индукцией 0,97 мТл [17] или МП с частотой 50 Гц и индукцией 400 мТл [18], стимуляцией апоптоза МП с частотой 50 Гц и индукцией 150 мТл [19] и ПМП с индукцией 1Тл [20], усилением транскрипции генов в ПМП с индукцией 100 мТл [21] и повреждающим действием на мембрану клеток ПМП с индукцией 100–300 мТл [22].

Однако простое снижение величины уровня индукции ПМП в 10–1 000 раз, то есть ниже предельно допустимого уровня (по СанПиН 2.2.4.3359-16), не нивелирует отрицательных эффектов воздействия ПМП на уровне клеток. Согласно литературным данным, в ПМП с индукцией 0,6 мТл усиливается пролиферация за счет угнетения апоптоза [23], снижается адгезивная способность лейкоцитов в ПМП с индукцией от 0,05 до 10 мТл

[24], возрастает внутриклеточная концентрация белков теплового шока в МП с частотой 50 Гц и индукцией 10–140 мкТл [25]. В связи с этим, дальнейшие исследования будут направлены на изучение повреждающего действия МП от величины индукции и характеристиками, измеренными вокруг системы «РМ».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как было показано, система «РМ» нуждается в защите от собственных техногенных МП. На основании проведенного в данной работе исследования создается перспектива использования представленной биологической модели в разработке и апробации методов и мероприятий для защиты от неблагоприятного действия МП, возникающих при эксплуатации магнитолевитационной транспортной системы. После обоснования медико-биологической безопасности на клеточном уровне техногенных МП системы «Российский маглев», можно проводить мониторинговые исследования в условиях реальных моделей [26].

Приведенные выше данные позволили сделать следующие выводы:

1. На уровне расчетных значений индукции постоянного магнитного поля проекта «Российский Маглев» наблюдается отрицательное действие на пролиферативную активность органотипической культуры ткани коры головного мозга и селезенки.

2. Представленная биологическая модель оценки влияния постоянных магнитных полей в органотипической культуре ткани позволяет проводить предварительную апробацию средств физической защиты, предназначенных для использования в проекте «Российский Маглев».

Библиографический список / References

1. Антонов Ю. Ф., Зайцев А.А. Магнитолевитационная транспортная технология / под ред. В.А. Гапановича – М.: Физматлит, 2014. [Antonov YuF, Zajcev AA. *Magnetogravitational transport technology*. Gapanovich VA, editor. Moskow: Physmathlit; 2014. (In Russ.)].
2. Чалисова Н.И., Лесняк В.В., Ноздрачев А.Д. Протекторное влияние аминокислот и олигопептидов при сочетанном действии с цитостатиком в культуре лимфоидной ткани // Доклады РАН. – 2009. – Т. 424. – № 5. – С. 700–704. [Chalissova NI, Nozdrachev AD, Lesnyak VV. Protective effect of amino acids and oligopeptides in combination with a cytostatic agent on lymphoid tissue culture. *Doklady RAN*. 2009;424(5):700-704. (In Russ.)].
3. Вахитов Т.Я., Чалисова Н.И., Ситкин С.И., Салль Т.С., и др. Низкомолекулярные компоненты метаболома крови регулируют пролиферативную активность в

- клеточных и бактериальных культурах // Доклады Академии наук. – 2017. – Т. 472. – № 4. – С. 491–493. [Vakhitov TY, Demyanova EV, Morugina AS, Petrov AV, Chalisova NI et al. Low-molecular-weight components of the metabolome control the proliferative activity in cellular and bacterial cultures. *Doklady RAN*. 2017;472(4):491-493. (In Russ.)].
4. Penniyainen VA, Chalisova NI, Nozdrachev AD. Interactions of cytokines and their components in nervous and lymphoid tissue cultures. *Doklady Biological Sciences*. 2002;384(1-6):199-201. doi: 10.1023/a:1016053021219
 5. Хавинсон В.Х., Морозов В.Г., Чалисова Н.И., Окулов В.Б. Влияние пептидов мозга на загущение нервной ткани в пробирке // Цитология. – 1997. – Т. 39, № 1. – С. 575–576. [Khavinson VKh, Morozov VG, Chalisova NI, Okulov VB. The effect of brain peptides on nerve tissue gells in vitro. *Tsitologiya*. 1997;39(7):575-576. (In Russ.)].
 6. Власов Т.Д., Рубинский А.В. Эксплуатация транспортной системы “Российский Маглев” и медикобиологические аспекты безопасности // Транспортные системы и технологии. – 2017. – № 3 (9). – С. 111-132. [Vlasov TD, Rubinskiy AV Operation of “russian maglev” transport system and medical-biological safety aspects. *Transportation Systems and Technology*. 2017;3(9):111-132. (In Russ., Engl.)]. doi: 10.17816/transsyst201733111-132
 7. Бреус Т.К., Бинги В.Н., Петрукович А.А. Магнитный фактор солнечно-земных связей и его влияние на человека: физические проблемы и перспективы // Успехи физических наук. – 2016. – Т. 186. – № 5. – С. 568-576. [Breus TK, Petrukovich AA, Binhi VN. Magnetic factor in solar-terrestrial relations and its impact on the human body: physical problems and prospects for research. *Physics-Uspeski*. 2016;59(5):502–510. (In Russ.)]. doi: 10.3367/UFNr.2015.12.037693.
 8. Чалисова, Н.И., Концевая Е.А., Войцеховская М.А., Комашня А.В. Регуляторное влияние кодируемых аминокислот на основные клеточные процессы у молодых и старых животных // Успехи геронтол. - 2011. - Т. 24, № 2. – с. 189-197. [Chalisova NI, Kontsevaya EA, Voytsehovskaya MA, Komashnya AV. The Regulatory Effects of Coded Amino Acids on Basic Cellular Processes in Young and Old Animals. *Uspeski Gerontologii*. 2011;24(2):189-197. (In Russ.)] doi: 10.1134/s2079057012010067
 9. Schenck JF. Physical interactions of static magnetic fields with living tissues. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*. 2005;87(2-3):185-204. doi: 10.1016/j.pbiomolbio.2004.08.009
 10. Villa M, Mustarelli P, Caprotti M. Minireview biological effects of magnetic fields. *Life Sci*. 1991;49(2):85-92. doi: 10.1016/0024-3205(91)90021-3
 11. Мамчик Н.П., Егорова А.М., Мокоян Б.О. Гигиенические особенности труда медицинского персонала, работающего с магнитно-резонансными томографами, с выявлением факторов риска // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2012. – Том 11. – №1. – С. 75-77. [Mamchik NP, Egorova AM, Mokoian BO. Hygienic estimation of working conditions at work with magnitno-resonant tomographs. System analysis and management in biomedical systems. 2012;11(1):75-77. (In Russ.)].
 12. Binhi VN. Do naturally occurring magnetic nanoparticles in the human body mediate increased risk of childhood leukaemia with EMF exposure? *International Journal of Radiation Biology*. 2008;84(7):569-579. doi: 10.1080/09553000802195323
 13. Miyakoshi J. Effects of static magnetic fields at the cellular level. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*. 2005;87(2-3):213-223. doi: 10.1016/j.pbiomolbio.2004.08.008
 14. Schreiber WG, Teichmann EM, Schiffer I, et al. Lack of mutagenic and co-mutagenic effects of magnetic fields during magnetic resonance imaging. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2001;14(6):779-788. doi: 10.1002/jmri.10010

15. Khavinson VKh, Shataeva LK, Chernova AA. Effect of regulatory peptides on gene transcription. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2003;136(3):288-290. doi: 10.1023/b:bebm.0000008986.02891.de
16. Chalisova NI, Khavinson V, Nozdrachev AD. Modulating and protective effects of thymic peptides in lymphoid tissue culture. *Doklady Biological Sciences*. 2001;379(1/6):316-318. doi: 10.1023/a:1011683609587
17. Yokus B, Cakir DU, Akdag MZ, et al. Oxidative DNA damage in rats exposed to extremely low frequency electromagnetic fields. *Free Radical Research*. 2005;39(3):317-323. doi: 10.1080/10715760500043603
18. Saito K, Suzuki H, Suzuki K. Teratogenic effects of static magnetic field on mouse fetuses. *Reproductive Toxicology*. 2006;22(1):118-124. doi: 10.1016/j.reprotox.2005.08.003
19. Robison JG, Pendleton AR, Monson KO et al. Decreased DNA repair rates and protection from heat induced apoptosis mediated by electromagnetic field exposure. *Bioelectromagnetics*. 2002;23(2):106-112. doi: 10.1002/bem.103
20. Ghibelli L, Cerella C, Cordisco S, et al. NMR exposure sensitizes tumor cells to apoptosis. *Apoptosis*. 2006;11(3):359-365. doi: 10.1007/s10495-006-4001-1
21. Hirai T, Yoneda Y. Transcriptional regulation of neuronal genes and its effect on neural functions: Gene expression in response to static magnetism in cultured rat hippocampal neurons. *Journal of pharmacological sciences*. 2005;98(3):219-224. doi: 10.1254/jphs.fmj05001x5
22. Teodori L, Albertini MC, Ugucconi F et al. Static magnetic fields affect cell size, shape, orientation, and membrane surface of human glioblastoma cells, as demonstrated by electron, optic, and atomic force microscopy. *Cytometry, Part A: The Journal of the Society for Analytical Cytology*. 2005;69(2):75-85. doi: 10.1002/cyto.a.20208
23. Fanelli C, Coppola S, Barone R et al. Magnetic fields increase cell survival by inhibiting apoptosis via modulation of Ca²⁺ influx. *The FASEB Journal*. 1999;13(1):95-102. doi: 10.1096/fasebj.13.1.95
24. Jandová A, Mhamdi L, Nedbalová M et al. Effects of magnetic field 0.1 and 0.05 mT on leukocyte adherence inhibition. *Electromagnetic Biology and Medicine*. 2005;24(3):283-292. doi: 10.1080/15368370500379681
25. Tokalov SV, Gutzeit HO. Weak electromagnetic fields (50 Hz) elicit a stress response in human cells. *Environmental Research*. 2004;94(2):145-151. doi: 10.1016/s0013-9351(03)00088-4
26. Рубинский А.В., Носкин Л.А. Медико-биологические подходы к проблемам безопасной эксплуатации магнитолевитационного транспорта // Транспортные системы и технологии. – 2016. – Т. 2. – No 4. – С. 114-127. Rubinskiy AV, Noskin LA. Biomedical aspects of problems safe usage of transport. *Transportation Systems and Technology*. 2016;2(4):114-127. (In Russ., Engl.). doi: 10.17816/transsyst201624114-127.

Сведения об авторах:

Рубинский Артемий Владимирович, кандидат медицинских наук, доцент;
eLibrary SPIN: 3020-0781; ORCID: 0000-0003-1041-8745;
E-mail: rubinskiyav@lspbgmu.ru

Власов Тимур Дмитриевич, доктор медицинских наук, профессор;
eLibrary SPIN: 8367-1246; ORCID: 0000-0002-6951-7599;
E-mail: tvlasov@yandex.ru

Чалисова Наталья Иосифовна, доктор биологических наук, профессор;
eLibrary SPIN: 2139-7608;
E-mail: ni_chalisova@mail.ru

Information about authors:

Artemy V. Rubinskiy, PhD;
eLibrary SPIN: 3020-0781; ORCID: 0000-0003-1041-8745;
E-mail: rubinskiyav@lspbgmu.ru

Timur D. Vlasov, MD, PhD, Professor;
eLibrary SPIN: 8367-1246; ORCID: 0000-0002-6951-7599;
E-mail: tvlasov@yandex.ru

Natalia I. Chalisova, DSc (Biol), PhD, Professor;
eLibrary SPIN: 2139-7608;
E-mail: ni_chalisova@mail.ru

Цитировать:

Рубинский А.В., Власов Т.Д., Чалисова Н.И. Модель для изучения действия магнитных полей на биологические объекты (в рамках проекта «Российский Маглев») // Транспортные системы и технологии. – 2018. – Т. 4. – № 3 прил. 1. – С. 340–350. doi: 10.17816/transsyst201843s1340-350

To cite this article:

Rubinskiy AV, Vlasov TD, Chalisova NI. The Model for Study of Influence of Magnetic Fields on Biological Objects (within the Russian Maglev Project). *Transportation Systems and Technology*. 2018;4(3 suppl. 1):340-350. doi: 10.17816/transsyst201843s1340-350